

использованием математического аппарата NRW. Затем, в рамках решения уравнений Максвелла с соответствующими граничными условиями и экспериментально полученными величинами диэлектрической и магнитной проницаемостей, будут вычислены отражательная и поглощательная способности данных нанокompозитов как функция толщины образца.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАГНИТОПРОВОДОВ ИЗ АМОРФНОГО СПЛАВА FINEMET**

Никульченков Н.Н.\*, Данилов С.В., Черепанов К.Е., Лобанов М.Л.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [nikolai.nikulchenkov@urfu.ru](mailto:nikolai.nikulchenkov@urfu.ru)

## **HEAT TREATMENT PARAMETERS OPTIMIZATION FOR MAGNETIC CORES OF AMORPHOUS FINEMET ALLOY**

Nikul'chenkov N.N., Danilov S.V., Cherepanov K.E., Lobanov M.L.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Critical points of initially amorphous Fe-Si-Nb-Cu-Mo-B-system alloy, produced by rapid cooling method, were determined using calorimetry and non-ambient x-ray diffraction methods. Alloy existence temperature interval in a nanocrystalline state was established. Heating values of phase and structure transformations, which being realized by heating, were determined. Measurements were used for finite difference simulation and heat treatment optimization of twisted magnetic cores of different sizes.

Сверхтонкие ленты, получаемые методом спиннингования из магнитомягких аморфных сплавов типа Finemet, нашли широкое применение в виде магнитопроводов высокочастотных устройств [1, 2]. При этом, с точки зрения функциональных электромагнитных свойств, предпочтительным является использование сплавов в нанокристаллическом, а не аморфном, состоянии, которое формируется в результате термической обработки витого магнитопровода [3, 4].

Целью работы было определение критических точек и тепловых эффектов превращений исходно аморфного сплава системы Fe-Si-Nb-Cu-Mo-B в виде ленты толщиной ~ 20 мкм, для оптимизации температурно-временных режимов термической обработки магнитопроводов.

Методами терморентгеновского фазового (дифрактометр Bruker ASX ADVANCE D8, рентгеновское излучение  $K\alpha$  Co) и калориметрического (установка Netzsch STA 449 C Jupiter) анализов при нагреве с различными скоростями (1-30 °/мин) определялись температурные интервалы превращений при переходе материала из аморфного состояния в нанокристаллическое с последующей рекристаллизацией (рис. 1). Из калориметрических данных были рассчитаны

удельные теплоты кристаллизации – 386 кДж/моль и рекристаллизации – 88 кДж/моль.

Экспериментальные данные были использованы для конечно-разностного моделирования процесса нагрева витых магнитопроводов различных размеров, основанного на численном решении второго уравнения Фурье. При расчетах предполагалось, что основная часть теплового потока направлена в витках параллельна оси магнитопровода. Последнее позволило свести краевую задачу к одномерной. Тепловой эффект кристаллизации моделировался включением внутреннего энергетического источника при достижении критической температуры. Результаты расчетов послужили основой для оптимизации технологической термической обработки витых магнитопроводов различных размеров с целью получения в них метастабильного нанокристаллического состояния без реализации процесса рекристаллизации.

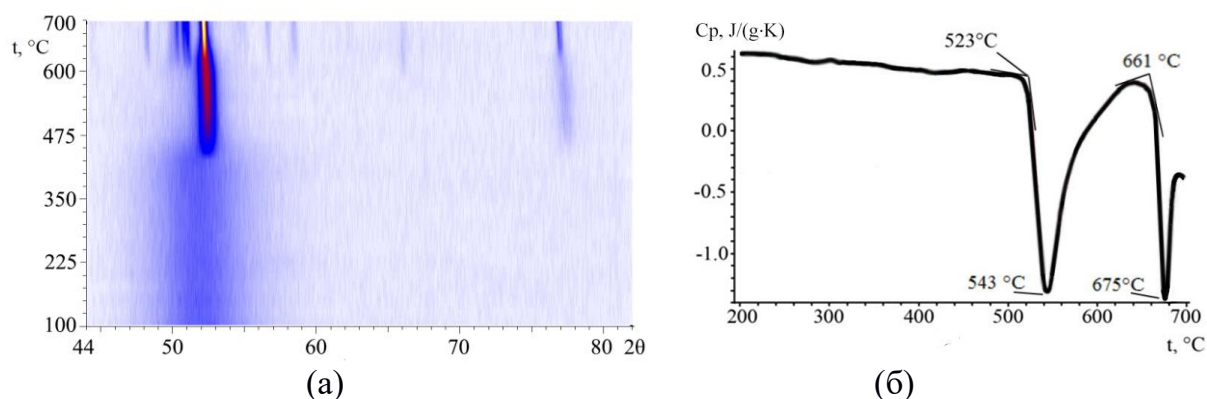


Рис. 1. Эволюция структуры аморфного сплава при нагреве: а – набор дифрактограмм в виде непрерывного изменения интенсивности рентгеновского излучения; б – изменение удельной теплоемкости

1. Yoshizawa Y., Oguma S., Yamauchi K., J. Appl. Phys., 64, 6044–6046 (1988).
2. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я., Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов: учебное пособие, Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. (2002).
3. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я., Компоненты и технологии, № 4, 144–146 (2007).
4. Khazaei Feizabad M.H., Sharafi S., Khayati G.R., Ranjbar M., J. Magn. Magn. Mater., 449, 297–303 (2018).